

AN: PAT 1987-044254
TI: Loading position monitoring of AC driven rotating mechanism
measuring as equivalent value for load torque of mechanism
value of field vertical component of stator vector of machine
PN: **DE3528409-A**
PD: 12.02.1987
AB: The method monitors the loading position of a rotating
mechanism, driven from a field oriented machine. An equivalent
value for the mechanical counter torque is effective on the
rotating mechanism, and the value of the field vertical
component of the stator vector of the machine is tapped and
monitored at the regulating system of the machine. The
equivalent values for the rotationsl angle and r.p.m. of the
mechanism of the field angle and r.p.m. can be tapped and
monitored. The method is implemented using an angle detector
(14) with zero point detectors (15a,15b), storage and registers
(16a;16b). The counted number of zero passages are inseted in a
comparator (31) and compared with the critical angle corresp.
to the critical filling position of the rotating mechanism e.g.
tube mill.; In ball mill, rolling mill or winding machine.
PA: (SIEI) SIEMENS AG;
IN: TIMPE W;
FA: **DE3528409-A** 12.02.1987; CH670016-A 28.04.1989;
DE3528409-C 31.01.1991; JP62037086-A 18.02.1987;
NO8602841-A 02.03.1987;
CO: CH; DE; JP; NO;
IC: H02H-007/08; H02P-007/44;
MC: T06-D05A; X13-C04C; X13-G01B1; X25-A02B;
DC: T06; X13; X25;
PR: **DE3528409** 07.08.1985;
FP: 12.02.1987
UP: 31.01.1991

**19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3528409 A1**

⑤1 Int. Cl. 4:
H02P 7/44



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

21 Aktenzeichen: P 35 28 409.9
22 Anmeldetag: 7. 8. 85
43 Offenlegungstag: 12. 2. 87

D E 35 28 409 A 1

⑦1 Anmelder:

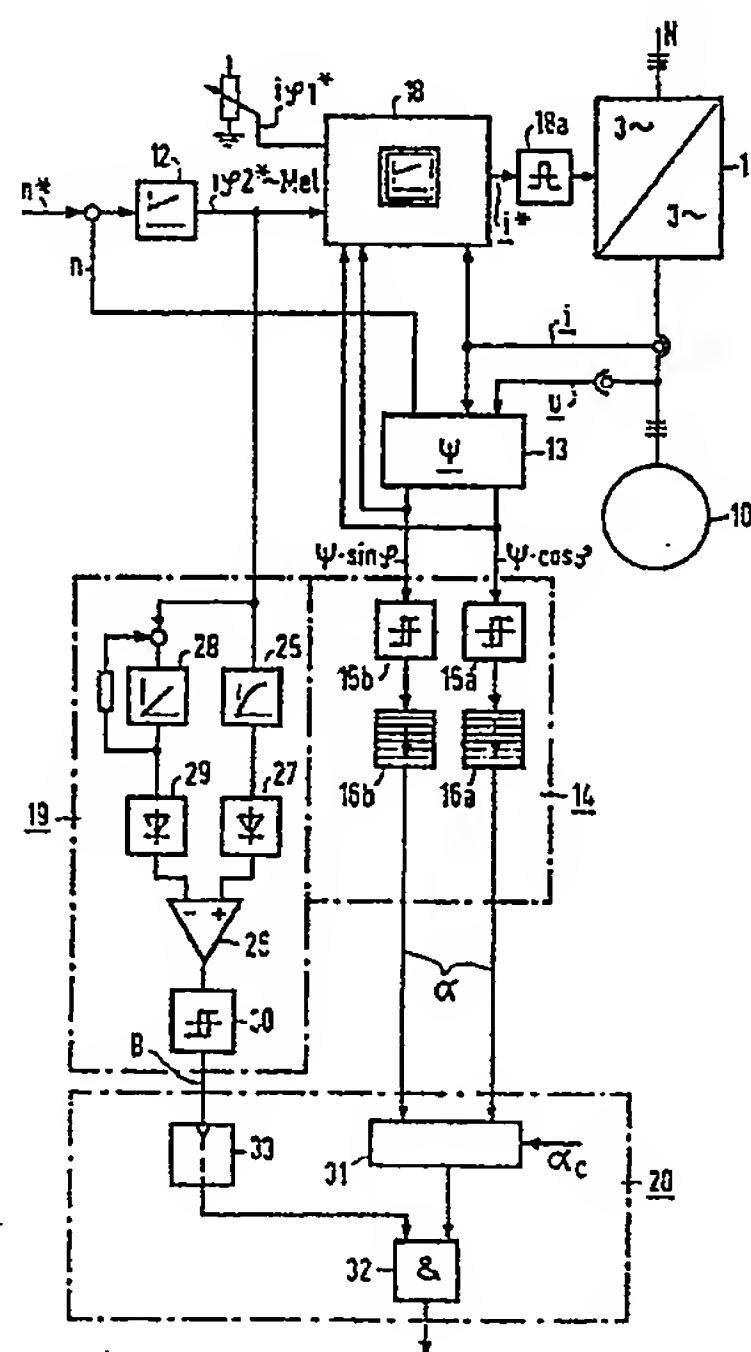
Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

72 Erfinder:

Timpe, Wolfgang, Dipl.-Ing., 8520 Erlangen, DE

54 Verfahren und Vorrichtung zum Überwachen des Lastzustandes einer rotierenden Mechanik, die von einer feldorientierten Drehfeldmaschine angetrieben ist

Die rotierende Mechanik einer Mühle, eines Walzwerkes, einer Fördermaschine etc. wird mit einer feldorientierten Drehfeldmaschine angetrieben. Zum Schutz der Mechanik und/oder des bearbeiteten Materials wird deren Zustand überwacht und ein zumindest vom auf die Mechanik wirkenden Drehmoment abhängiges Überwachungssignal gebildet. An der feldorientierten Regeleinrichtung der Drehfeldmaschine werden die feldsenkrechte Komponente des Ständerstroms und gegebenenfalls zusätzlich der Feldwinkel und die Feldfrequenz der Drehfeldmaschine als Ersatzgrößen für mechanisches Gegenmoment, Drehwinkel und Drehzahl der Mechanik abgegriffen. So kann zum Beispiel der »frozen charge«-Zustand des Füllgutes einer Rohrmühle ohne mechanische Geber erfaßt werden.



Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen des Lastzustandes einer rotierenden Mechanik, die von einer feldorientiert geregelten Drehfeldmaschine angetrieben ist, dadurch gekennzeichnet, daß als Ersatzgröße für das auf die rotierende Mechanik wirkende mechanische Gegenmoment der Wert der feldsenkrechten Komponente des Ständerstromvektors der Drehfeldmaschine an der Regeleinrichtung der Drehfeldmaschine abgegriffen und überwacht wird. 5
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Ersatzgröße für den Drehwinkel der Mechanik an der Regeleinrichtung der Feldwinkel der Drehfeldmaschine abgegriffen und überwacht wird. 15
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Ersatzgröße für die Drehzahl der Mechanik an der Regeleinrichtung die Feldfrequenz der Drehfeldmaschine abgegriffen und überwacht wird. 20
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Wert der feldsenkrechten Komponente am Ausgang eines Reglers abgegriffen wird, dem die Regelabweichung der Feldfrequenz von einem Frequenzsollwert zugeführt ist. 25
5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Feldwinkel die ständerorientierten kartesischen Komponenten des Feldvektors gebildet, die Nulldurchgänge einer oder beider Komponenten gezählt und die Anzahl der Nulldurchgänge als Ersatzwert für den Drehwinkel verwendet werden. 30
6. Verfahren nach der Kombination der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß beim Erreichen eines Maximums für die Gegenmoment-Ersatzgröße ein Zustandssignal gesetzt und das Zustandssignal mit der Drehwinkel-Ersatzgröße zu einem Überwachungssignal verknüpft wird. 35
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß mit einer geringen Glättungszeitkonstante der Wert der Gegenmoment-Ersatzgröße und mit einer größeren Glättungszeitkonstante ein Mittelwert der Gegenmoment-Ersatzgröße gebildet wird und daß das Erreichen eines Maximalwertes der Gegenmoment-Ersatzgröße an der Polaritätsumkehr der Differenz beider Werte erkannt wird. 45
8. Anwendung des Verfahrens zum Erkennen eines kritischen Zustandes beim Anlauf der Mechanik, insbesondere zum Erkennen eines "frozen charge"-Zustandes der Füllung einer Rohrmühle, gekennzeichnet durch folgende Schritte: 50
- a) Die Winkelauslenkung des Feldvektors gegenüber einer Anfangslage wird während des Anlaufes erfaßt;
- b) mittels eines aus der feldsenkrechten Komponente des Ständerstromes gebildeten Signals wird ein einem kritischen Lastzustand zugeordnetes Zustandssignal gebildet, sobald die feldsenkrechte Komponente einen Maximalwert erreicht; und 60
- c) aus dem Wert des Zustandssignals und dem Wert der Winkelauslenkung wird die beim Erreichen des Maximalwertes vorliegende Winkelauslenkung als Maß für den Lastzustand der Mechanik gebildet. 65
9. Vorrichtung zum Überwachen des Lastzustandes einer rotierenden Mechanik, die von einer feld-

orientierten Drehfeldmaschine angetrieben ist, wobei in einer Regeleinrichtung ein Flußrechner den Feldwinkel der Drehfeldmaschine ermittelt und der Regeleinrichtung eingegebene Führungsgrößen für die zum Feldvektor parallele und senkrechte Komponente des Ständerstromvektors mittels des Feldwinkels in ständerorientierte Steuergrößen eines die Ständerwicklungen der Drehfeldmaschine speisenden Umrichters überführt werden, gekennzeichnet durch eine Überwachungseinrichtung zur Erzeugung eines mindestens aus dem auf die Mechanik wirkenden mechanischen Gegenmoment abgeleiteten Überwachungssignals, wobei Eingänge der Überwachungseinrichtung an die Regeleinrichtung angeschlossen sind und der Überwachungseinrichtung als Ersatzwert für das Gegenmoment der Istwert oder Sollwert der feldsenkrechten Komponente des Ständerstromvektors zugeführt ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Überwachungseinrichtung eine an den Eingang für die feldsenkrechte Komponente angeschlossene Einrichtung zur Zustandserfassung, einen an den Flußrechner angeschlossenen Winkeldetektor zur Auswertung des Feldwinkels und eine an die Einrichtung zur Zustandserfassung und den Winkeldetektor angeschlossene Auswerteeinrichtung zur Bildung des Überwachungssignals durch Verknüpfen des Winkelsignals mit dem Zustandssignal enthält.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß

a) die Einrichtung zur Zustandserfassung ein Übertragungsglied mit geringer Glättungszeitkonstante und ein Glättungsglied mit höherer Glättungszeitkonstante sowie einen Polaritätsdetektor für die Differenz der vom Übertragungsglied und dem Glättungsglied gelieferten Signale und einen vom Polaritätsdetektor rücksetzbaren Zustandsspeicher enthält;

b) daß der Winkeldetektor eine Zähleinrichtung für die Nulldurchgänge der am Flußrechner abgegriffenen ständerorientierten kartesischen Komponenten des Feldvektors enthält; und

c) daß die Auswerteeinrichtung eine von einem kritischen Grenzwert für die Winkelauslenkung, dem Ausgangssignal des Winkeldetektors und dem Ausgangssignal des Zustandsspeichers gespeiste Abfrageeinrichtung enthält, die durch Vergleich des vorgegebenen kritischen Grenzwerts mit dem mit einer Änderung des im Zustandsspeicher gespeicherten Zustandssignals koinzidierenden Winkel signal das Überwachungssignal liefert.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Überwachen des Lastzustandes einer rotierenden Mechanik, die von einer feldorientierten Drehfeldmaschine angetrieben ist.

Elektrische Antriebe für mechanische Anlage, z. B. Walzwerke, Förderbänder, Schacht-Förderanlagen oder Mühlen, enthalten meist Kurzschlußüberwachungen, Überlast-Überwachungen und andere Einrichtungen, die den elektrischen Teil der gesamten Anlage (z. B. die Maschine und/oder den speisenden Umrichter) zum Schutz vor Funktionsstörungen und zerstörenden Fehlern überwachen.

Aus der DE-PS 27 04 764 ist z. B. eine Schaltung bekannt, die die Grundschwingsleistung einer feldorientierten Drehfeldmaschine als Produkt der an der feldorientiert arbeitenden Regeleinrichtung der Drehfeldmaschine abgegriffenen Sollwerte für das elektrische Moment und die Läuferdrehzahl zu berechnen gestattet, wobei der Sollwert für das elektrische Moment seinerseits auch durch das Produkt der Sollwerte für den Fluß und die feldsenkrechte Ständerstromkomponente ersetzt werden kann.

Bei Fördermaschinen, Schacht-Förderanlagen, Walzwerken etc. können aber auch im mechanischen Teil der Anlage irreguläre Lastzustände auftreten, die zu einer Zerstörung der mechanischen Teile führen. Bei bearbeitenden Maschinen wie z. B. Walzwerken oder Mühlen kann diese Gefährdung auch von dem zu bearbeitenden Werkstoff herrührer und/oder diesem drohen. Die Erkennung einer solchen Gefahr erfordert zunächst Kraftmeßdosen, Drehmomentaufnehmer und ähnliche mechanische Geber, um durch geeignete Eingriffe in die Steuerung rechtzeitig eingreifen zu können. Für den Drehofen eines Zementwerkes ist in der deutschen Offenlegungsschrift 34 09 176 vorgeschlagen, anstelle des mechanischen Drehmoments des Drehofens das elektrische Drehmoment einer den Drehofen antreibenden Gleichstrommotors aus dem Ankerstrom des Motors zu errechnen und Verarbeitungsgliedern zur Mittelwertbildung, Gradientenbildung und zu anderen Auswertungen heranzuziehen, für die auch mittels eines an den Ofen angeschlossenen, mechanischen Drehzahlmessers und Winkelschrittzählers die geometrische Drehzahl und der Drehwinkel des Ofens verwendet wird. In der japanischen Offenlegungsschrift 58-1 47 625 wird das mechanische Drehmoment einer von einer Drehstrommaschine angetriebenen rotierenden Maschine dadurch überwacht, daß mechanische Drehzahl, Spannung und Frequenz der Maschine rechnerisch miteinander verknüpft werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Lastzustand der Mechanik, in erster Linie also deren mechanisches Moment, auf möglichst einfache Weise zu überwachen.

Dies ist besonders einfach, wenn als Antrieb für die Mechanik eine feldorientierte Drehfeldmaschine verwendet wird. Eine derartige Drehfeldmaschine benötigt einen Flußrechner, der in dem raumfesten Koordinatensystem, das zur Beschreibung der Relativbewegung zwischen Fluß bzw. Läufer und Ständerwicklungen erforderlich ist, den Flußvektor Ψ oder zumindest dessen Richtungswinkel berechnet. Dieser Flußrechner ist bevorzugt als sogenanntes "Spannungsmodell" ausgebildet. Er liefert die Bestimmungsgrößen des Flusses als Integral der Spannungen (genauer gesagt: Der aus den Spannungen durch Abzug ohmscher und induktiver Spannungsabfälle gebildeten EMK) und kommt ohne einen mechanischen Geber aus. Eine Regeleinrichtung, der jeweils eine Führungsgröße für die feldsenkrechte und die feldparallele Komponente des Ständerstromvektors vorgegeben wird, bildet mittels dieser Information über den Fluß die Steuergröße, mit denen ein Stromstellglied für die Ständerwicklungen der Drehfeldmaschine gesteuert wird.

Der Erfindung liegt nun der Gedanke zugrunde, die den mechanischen Lastzustand betreffenden Größen, zunächst also das auf die rotierenden mechanischen Teile wirkende und auf den Läufer übertragene mechanische Moment, daneben gegebenenfalls auch den Drehwinkel und/oder die Drehzahl der rotierenden Mecha-

nik durch Größen zu ersetzen, die in der feldorientierten Regelung ohnehin bereits gebildet sind.

Daher wird als Ersatzgröße für das mechanische Drehmoment die feldsenkrechte Komponente des Ständerstroms der Drehfeldmaschine überwacht. Dabei wird davon ausgegangen, daß für die Überwachung des Moments der Mechanik das Trägheitsmoment des Läufers, auf den sowohl dieses mechanische Moment wie das elektrische Moment wirkt, keine Rolle spielt. Ebenso wird nicht berücksichtigt, daß das elektrische Moment einer Drehfeldmaschine zum jeweiligen aktuellen Fluß proportional ist und bei einer Flußabnahme nur durch Erhöhung der feldsenkrechten Ständerstromkomponente aufrechterhalten bleiben kann.

Für die Überwachung des Lastzustandes können der Schlupf einer Asynchronmaschine bzw. die lastabhängige Verschiebung zwischen dem Polradwinkel und dem Feldwinkel meist vernachlässigt werden, insbesondere wenn die Drehfeldmaschine eine hohe Polpaar-Zahl p (z. B. $p = 20, \dots 40$) aufweist. Als Ersatz-Istwert für den Drehwinkel und/oder die Drehzahl der Mechanik kann daher der Feldwinkel bzw. die Feldfrequenz erfaßt werden.

Häufig tritt der erwähnte irreguläre Lastzustand im mechanischen Teil in Form eines gefährlichen Drehmoment-Maximums beim Anlauf vor. Z. B. kann für die Drehfeldmaschine beim Anlauf ein bestimmter Drehzahl-Sollwert vorgegeben sein, während eine Ist-Drehung des Läufers anfänglich durch ein starkes irreguläres Gegenmoment der Last gebremst oder verhindert wird. Der Drehzahlregler greift dann in die Steuerung der Drehfeldmaschine im Sinne eines erhöhten elektrischen Moments (bei Feldorientierung: Erhöhung der feldsenkrechten Ständerstromkomponente) ein, die zum gefährlichen Anstieg des mechanischen Moments führt.

In manchen Fällen kann nun eine drohende Gefahr für die mechanischen Teile oder das zu bearbeitende Material allein an der Höhe des auftretenden mechanischen Gegenmoments und daher am Betrag des elektrischen Moments des Antriebs ("Antriebsmoment") erkannt werden. In anderen Anwendungsfällen ist aber die absolute Höhe des auftretenden Moments nicht allein oder auch überhaupt nicht entscheidend, vielmehr treten andere Parameter hinzu, die durch eine Verknüpfung des Gegenmoments mit Drehzahl und/oder Drehwinkel der Mechanik selbst dann erkannt werden können, wenn sie gar nicht ursächlich mit diesen Parametern zusammenhängen.

Dies sei am besonders vorteilhaften Anwendungsfall einer Rohrmühle, insbesondere einer getriebelosen Rohrmühle, dargestellt.

In Fig. 1 ist mit 1 der Querschnitt durch das Innere des Mahlrohres einer Rohrmühle gezeigt, wobei die schraffierte Fläche angibt, bis zu welchem Füllgrad das Mahlrohr mit Füllgut gefüllt ist. Wird beim Anlauf das Mahlrohr gegenüber einer durch $\alpha = 0^\circ$ gekennzeichneten Anfangslage um den Winkel α ausgelenkt, ohne daß es dabei zu einer gegenseitigen Bewegung der einzelnen Füllgutteile kommt, so wird der Füllgut-Schwerpunkt gegenüber seiner mit 2 gekennzeichneten Anfangslage auf den Punkt 3 angehoben und für ein weitere Anheben des Schwerpunkts muß vom elektrischen Antrieb ein elektrisches Drehmoment ("Antriebsmoment") aufgebracht werden, das proportional zur Masse des Füllgutes, dem Abstand des Schwerpunktes 3 von der Drehachse 4 sowie auch proportional zu $\sin \alpha$ ist. Ist das Füllgut hinreichend locker und können sich daher einzelne Teile des Füllgutes zu einem gewissen Grad

infolge der Schwerkraft gegeneinander bewegen, so werden sich bei einem Maximalwert α_m der Winkel auslenkung α Teile der Füllung ablösen und im Mahlrohr nach unten stürzen.

Bei einem extrem lockeren und ideal fließfähigen Zustand des Füllguts liegt dieser Ablösewinkel α_m nahe bei 0° und das elektrische Moment des Antriebs wird durch die Trägheit des Mahlrohres und die innere Reibung der Füllung bestimmt. Es ergibt sich ein ungefähr konstanter, vom Füllgrad, Parametern der Füllung sowie der Drehzahl des Antriebs abhängiger Wert des Drehmomentes.

Im anderen Extremfall, in dem die Füllung praktisch zu einem stärren Körper zusammengebacken, zusammengefroren, verklebt, verpreßt oder versintert ist ("frozen and charge") wird die Füllung mit einem zu sin α proportionalen Drehmoment vom Antrieb bis zur Winkel auslenkung $\alpha = 90^\circ$ angehoben, um erst anschließend als ganzes abzustürzen.

Bei diesem Abstürzen wird sie zwar zerbrechen und dadurch die Mahlwirkung der Mühle verstärken, jedoch bedeutet ihr Aufschlagen auf der Mahlrohrwand eine erhebliche mechanische Belastung der Rohr-Innenauskleidung, die dadurch mechanisch zerstört werden kann.

Es ist daher wünschenswert, den mechanischen Zustand des Füllgutes zu überwachen und die Mühle anzuhalten, zu reversieren oder andere Maßnahmen einzuleiten, wenn bei einem ungünstigen Zustand des Füllgutes Ablösewinkel α_m auftreten können, die über einem kritischen Wert α_c liegen.

In Fig. 2 ist der Verlauf des elektrischen Moments des Antriebs in Abhängigkeit vom Drehwinkel α gezeigt, wenn die Mühle mit einem Füllgrad von 45% (Kurve 5) bzw. 30% (Kurve 6) mit konstanter Drehzahl betrieben wird. Bei dem angenommenen, lockeren Zustand des Füllgutes wird ungefähr bei $\alpha_m = 45^\circ$ ein Maximalwert des Drehmoments erreicht, bei dem abstürzende Füllgut-Teile verhindern, daß der Schwerpunkt der Füllung weiter angehoben wird. Dieser Maximalwert des Drehmoments ist von der Beschaffenheit der jeweiligen Füllung abhängig. Bei einer "gefrorenen Füllung" jedoch steigt das Drehmoment entsprechend der Kurve 7 weiter an.

In einer besonderen Ausführung der Erfindung wird nun nicht der Maximalwert des mechanischen Moments des Rohres selbst erfaßt. Als Maß für den lockeren Zustand der Füllung dient vielmehr zunächst die Winkel auslenkung α_m , bei der der jeweilige Maximalwert des elektrischen Antriebsmoments erreicht wird. Diese Winkel auslenkung α_m ist nämlich von den individuellen Parametern der Füllung weitgehend unabhängig, wie der Vergleich der Kurven 5 und 6 zeigt.

Entsprechend kann einerseits die Winkel auslenkung α der Mechanik gegenüber der Anfangslage α_0 und andererseits das elektrische Moment M_{el} des Antriebs selbst erfaßt werden. Soll also z. B. der Füllgut-Zustand darauf überwacht werden, ob durch eine Überschreitung eines kritischen Winkels α_c eine mechanische Zerstörung der Mühle droht, so wird die Bedingung $\alpha_m < \alpha_c$ überwacht, bei deren Einhaltung ein ungestörter Mahlbetrieb möglich ist. In diesem Fall kann ein Zustandsignal gesetzt werden, wenn das Antriebsmoment wegen Erreichen des Maximalwertes nicht weiter anwächst. Hat das Winkelsignal α den kritischen Wert α_c erreicht, so kann dann am Zustandssignal abgelesen werden, ob der mit dem Winkel α_m verbundene Maximalwert bereits vorher angenommen wurde, also die Füllung hinreichend locker ist, oder mit wachsender

Auslenkung auch das Drehmoment und somit die Zerstörungsgefahr des Mahlrohres weiter anwächst. Selbstverständlich kann auch umgekehrt bei einem auf den Maximalwert folgenden Rückgang des Drehmoments 5 auch der entsprechende Momentanwert α_m der Winkel auslenkung α abgelesen und auf die Bedingung $\alpha_c < \alpha_m$ abgefragt werden.

Die Verwendung einer feldorientierten Drehfeldmaschine gestattet, durch Verwendung der feldsenkrechten Ständerstromkomponente, des Feldwinkels und seiner Frequenz, die ohnehin für den feldorientierten Betrieb erforderlich sind, als Ersatzwerte für mechanisches Moment, Winkel auslenkung α und Drehzahl des Mahlrohres diese Überwachung einfach durchzuführen.

Eine vorteilhafte Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens sowie bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet und anhand zweier Ausführungsbeispiele und zweier weiterer Figuren erläutert. Es zeigen:

- 15 Fig. 1 den bereits erläuterten Querschnitt durch ein teilweise gefülltes Mahlrohr,
 Fig. 2 den bereits erläuterten Verlauf des Drehmoments in Abhängigkeit von der Winkel auslenkung,
 Fig. 3 schematisch die Struktur einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens bei einer Rohrmühle, wobei zunächst von den Besonderheiten einer feldorientierten Drehfeldmaschine nicht Gebrauch gemacht wird,
 Fig. 4 eine bevorzugte Ausführungsform dieser Vorrichtung.

Gemäß Fig. 3 wird das Mahlrohr 1 der Rohrmühle mit einer elektrischen Maschine 10 angetrieben, die von einem Stromstetigglied 11 in Abhängigkeit von dem Ausgangssignal eines Führungsgrößenreglers 12 gespeist ist. Als Führungsgröße dient bevorzugt die Drehzahl, für den ein Sollwert n^* eingegeben und an einem Tachogenerator 8 ein entsprechender Istwert n abgegriffen werden kann. Die Winkel auslenkung α entspricht dann dem Integral des Drehzahl-Istwertes n und kann mittels eines als Integrators ausgebildeten Winkeldetektors 15 gebildet werden. Mit 19 ist eine Einrichtung zur Zustandserfassung gemäß der Erfindung angedeutet, die aus einem geeigneten, das elektrische Moment des Antriebs beschreibenden Betriebsparameter ein Zustandsignal ableitet, wenn das elektrische Moment praktisch nicht mehr zunimmt. In Fig. 3 ist das schematisch dadurch angedeutet, daß ein geringfügig geglätteter Ist- oder Sollwert für das elektrische Moment M_{el} des Antriebs differenziert und mittels eines Schwellwertgliedes das Vorzeichen der Ableitung als Zustandssignal gebildet wird.

Eine Auswerteschaltung liefert durch Verknüpfung des Winkelsignals α mit dem Zustandssignal $sign(dM_{el}/dt)$ das Überwachungssignal A. Diese Verknüpfung geschieht bei der in Fig. 3 gezeigten Variante dadurch, daß ein Schalter 21 am Eingang des Integrators 15 geschlossen bleibt, solange beim Anfahren das Antriebsmoment M_{el} wächst. Folglich steht am Integratorausgang die Winkel auslenkung $\alpha < \alpha_m$ an und ein mit dem kritischen Wert α_c gespeister Differenzverstärker zeigt an, daß der Zustand des Füllgutes ein weiteres Ansteigen der Winkel auslenkung noch zuläßt.

Wenn jedoch M_{el} den Maximalwert erreicht, wo wird vom Ausgangssignal der Zustandserfassung 19 der Schalter 21 geöffnet und der Integratorausgang 15 bleibt auf den Wert $\alpha = \alpha_m$ stehen. Ein nicht dargestellter Zustandsspeicher sorgt dafür, daß der Schalter 21 weiterhin geöffnet bleibt, so daß am Ausgang des

Differenzverstärkers 22 anstehende positive Werte anzeigen, daß der Zustand des Füllgutes noch mehr oder weniger weit von einem kritischen Zustand entfernt ist und der Normalbetrieb der Mühle aufrechterhalten werden kann. Negative Werte am Ausgang des Differenzverstärkers 22 jedoch zeigen an, wie weit der kritische Winkel α_c bereits überschritten ist und entsprechende Maßnahmen in der Steuerung des Antriebs dringend erforderlich werden.

Die in Fig. 3 nur schematisch gezeigte Zustandserfassung 19 muß nicht unbedingt das Erreichen des Maximalwertes für das Antriebsmoment mittels dessen Ableitung überwachen. Gemäß der Ausbildung nach Fig. 4 kann z. B. der Parameter Mel über ein Übertragungsglied 25 mit einer geringen Glättungszeitkonstanten dem einen Eingang eines Differenzverstärkers 26 zugeführt, wobei ein Gleichrichter 27 vorgesehen sein kann, um bei einer Umkehrung des Rotationssinns in der Mühle die Vorzeichenumkehr des Antriebsmoments und seiner Ableitung auszugleichen. Gleichzeitig wird der Parameter Mel über ein Glättungsglied 28 mit einer größeren Zeitkonstante dem anderen Eingang des Differenzverstärkers 26 zugeführt. Das Glättungsglied 28 kann z. B. als Integrator mit einer widerstandsbehafteten Rückführungsleitung ausgebildet sein und ebenfalls einen nachgeschalteten Gleichrichter 29 zur Berücksichtigung des Rotationssinns enthalten.

Da der wenig geglättete Parameter stärker ansteigt als der durch die stärkere Glättung gebildete Mittelwert, liefert der Differenzverstärker 26 ein positives Signal, bis sich die Verhältnisse beim Winkel α_m umkehren. Ein Grenzwertmelder 30 liefert das der Polarität am Ausgang des Differenzverstärkers 26 entsprechende Überwachungssignal B .

Gemäß Fig. 3 wird als Antriebsmotor 10 eine Drehfeldmaschine, insbesondere eine Synchronmaschine, verwendet und von einem Umrichter 11 (z. B. Direktumrichter oder Umrichter mit Gleichstrom-Zwischenkreis) gespeist. Dessen Steuersatz 18a ist von einer feldorientierten Regeleinrichtung 18 mit Steuergrößen, die einen Steuervektor i^* für das Drehstromsystem i am Ausgang des Stromrichters festlegen. In einer derartigen Regelung 18 vorhandene Regelkreise und Steuerstrecken stellen sicher, daß das Strom-Istwertsystem i praktisch gleich dem durch den ständerorientierten Steuervektor i ist, so daß Istwert und Sollwert des Antriebsmoments Mel praktisch gleichwertig verwendet werden können. Der für die Feldorientierung erforderliche Feldwinkel φ wird von einem Flußrechner 13 geliefert.

Das elektrische Antriebsmoment ist durch die Führungsgröße $i\varphi 2^*$ für die feldsenkrechte Komponente (d. h. also für das Antriebsmoment Mel) bestimmt, die bei einer Drehzahlregelung des Antriebs am Ausgang des Drehzahlreglers 12 abgegriffen wird und — unter Vernachlässigung des Einflusses von Flußänderungen — als Maß für das Antriebsmoment dient.

Auf gleiche Weise kann auch als Winkelauslenkung des Mahlrohrs im Winkeldetektor 14 die Richtung des Flußvektors der Drehfeldmaschine erfaßt werden. Die Richtung des Flußvektors wird vorteilhaft in Form der ständerorientierten Komponenten $\Psi \cdot \cos \varphi$ und $\Psi \cdot \sin \varphi$ oder der normierten Komponenten $\cos \varphi$, $\sin \varphi$ verarbeitet. Werden die Nulldurchgänge einer Komponenten gezählt, so ergibt deren Anzahl m einen Digitalwert der Winkelauflösung gemäß $\alpha = m \cdot \pi/p + \pi/2p$, das bei der üblichen hohen Polpaarzahl ($p = 20 \dots 40$) eine ausreichende Winkelauflösung besitzt. Diese kann noch er-

höht werden, wenn auch die Nulldurchgänge der anderen ständerorientierten Flußkomponente gezählt werden.

Der Winkeldetektor 14 in Fig. 4 enthält zu diesem Zweck die Nullpunkt detektoren 15a, 15b, deren Ausgangssignale bei jedem Nulldurchgang ihren Zustand ändern. Werden diese Zustandsfolgen in nachfolgende Schieberegister 16a, 16b eingelesen, so können deren Speicherinhalte in einem nachfolgenden Decodierer in eine geeignete Form für die weitere Verarbeitung der Winkel auslenkung umgesetzt werden.

Beim Ausführungsbeispiel der Fig. 4 wird die gezählte Anzahl der Nulldurchgänge, d. h. die den Winkel α beschreibenden Speicherinhalte der Schieberegister 16b und 16b, in einen Vergleicher 31 eingelesen und dort mit dem einen kritischen Füllungszustand entsprechenden kritischen Winkel α_c verglichen. Dieser Vergleicher 31 gibt über ein nachgeschaltetes UND-Gatter 32 das dem anderen Eingang des UND-Gatters eingegebene Zustandssignal der Zustandserfassung 19 frei, sobald der kritische Grenzwinkel α_c erreicht oder überschritten ist.

Dieses Zustandssignal ist in der Zustandserfassung 19 der Fig. 4 von dem Polaritätsdetektor 30 auf einen kritischen Wert gesetzt, solange das Antriebsmoment Mel zunimmt. Es verschwindet, sobald Mel den Maximalwert erreicht, unabhängig von der Höhe des Maximalwerts selbst. Das UND-Gatter 32 zeigt an seinem Ausgang daher den kritischen Zustand an, wenn das Maximum beim kritischen Winkel α_c noch nicht erreicht wird.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, wiederholt sich das Hochlaufen des Drehmoments auf einen relativen Maximalwert und die nachfolgende Abnahme des Drehmoments mehrfach, solange das Füllgut durch den fortschreitenden Mahlvorgang noch nicht ausreichend gemahlen und homogen ist. Die Zustandserfassung spricht aber aufgrund ihrer Struktur auf kleine Schwerpunktänderungen nicht an, die auf zufällige Relativbewegungen im Füllgut zurückzuführen sind und dem in Fig. 2 gezeigten glatten Verlauf überlagert sein können. Dabei ist das erste von der Zustandserfassung gemeldete relative Maximum des Antriebsmoments gleichzeitig auch dessen absolutes Maximum. Später auftretende relative Maxima, die vom Differenzverstärker 26 und dem Polaritätsdetektor 30 ebenfalls erfaßt werden, spielen für die Erfassung des kritischen Zustandes demnach keine Rolle. Daher ist vorteilhaft am am Ausgang der Zustandserfassung 19 ein Speicher (Flip-Flop 33) angeordnet, der beim Anfahren auf den kritischen Zustand gesetzt und beim Erreichen des ersten Maximums von der Zustandserfassung auf den unkritischen Zustand gesetzt und auf diesem Zustand erhalten bleibt.

- Leerseite -

NACHGERECHT

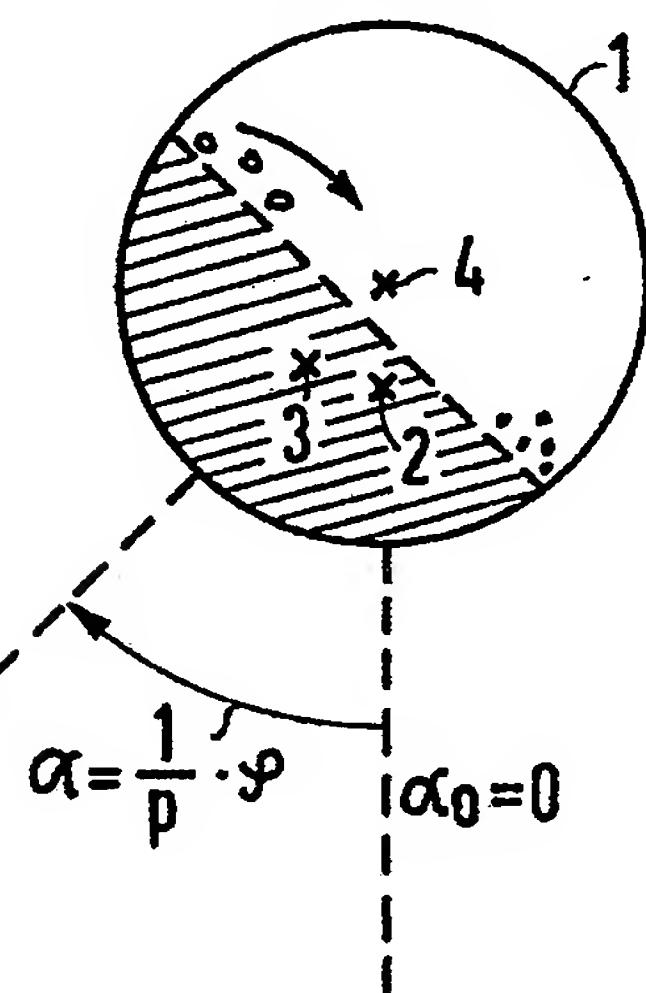
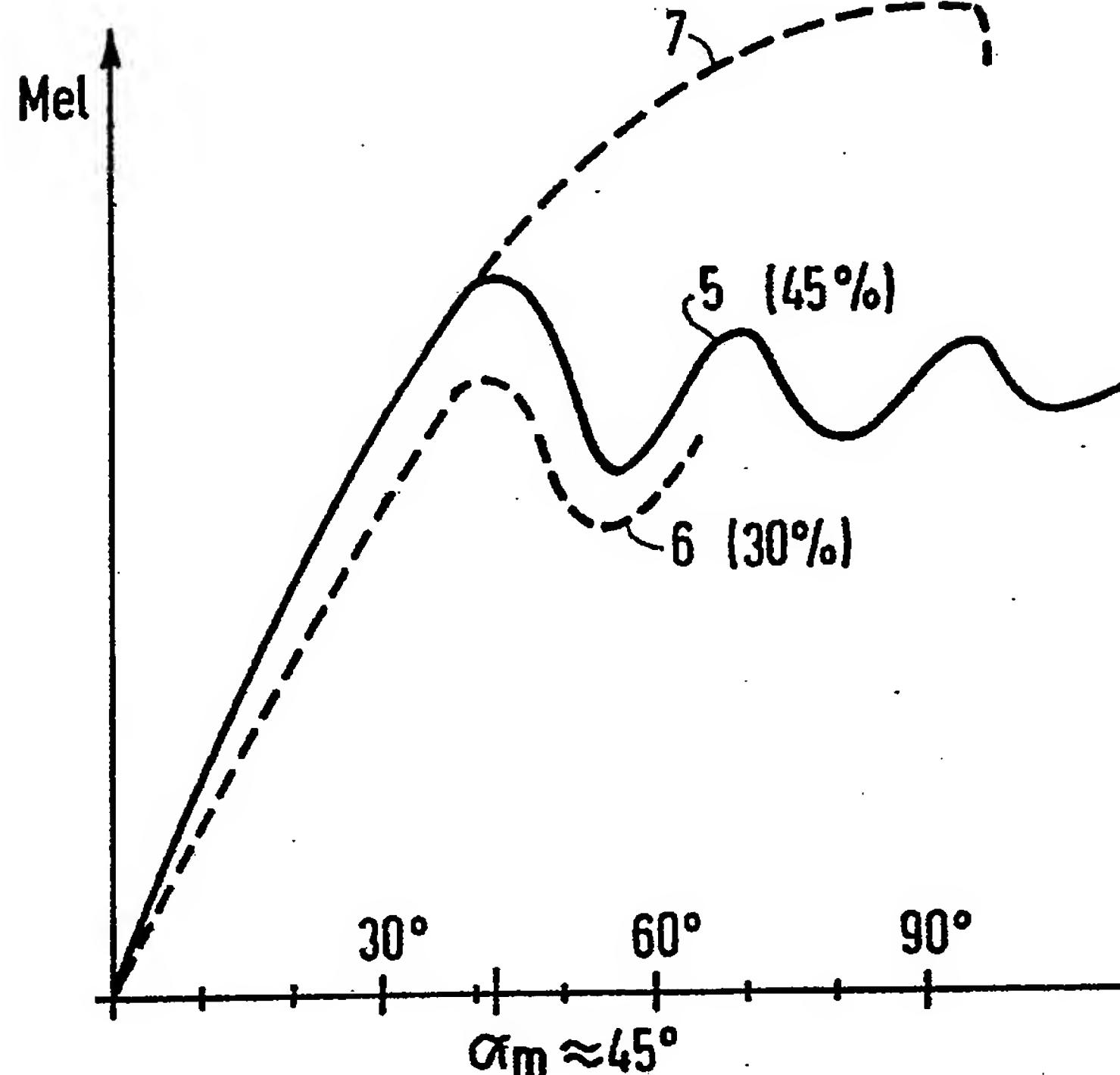


FIG 1

